

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Zproduktivnění obrábění nástrojových ocelí

Rationalization of Tool Steel Machining

Autor práce: Miroslav Šilar

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Šilar**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zproduktivnění obrábění nástrojových ocelí
Rationalization of Tool Steel Machining

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Obrábění nástrojových ocelí.
3. Návrh nové technologie obrábění vybraných ocelí.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16.5.2011

Miroslav Šilar
.....

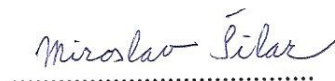
podpis studenta

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2011



Miroslav Šilar

Jméno a příjmení autora práce:

Miroslav Šilar

Adresa trvalého pobytu autora práce:

**Horní Čermná 191
561 56 Horní Čermná**

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Šilar, M. *Zproduktivnění obrábění nástrojových ocelí: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá obráběním nakloněné roviny nástrojové oceli třídy 1.2343 dokončovací kulovou frézou. Byla realizována ve firmě Komfi spol. s.r.o. na stroji značky MAS typu MCV 1000 Power. Je zde popsána technologie obrábění. Dále jsou zde zahrnuty druhy nástrojových materiálů, jejich chemické složení, využití a opotřebení. Hlavní částí je návrh nové technologie obrábění této plochy zvolenými třemi značkami kulových fréz. Závěrem práce je porovnání obrobené plochy použitými nástroji, vyhodnocení výsledků a technicko-ekonomické zhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Šilar, M. *Rationalization of Tool Steel Machining: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, p. Thesis head: Vrba, V.

Bachelor thesis deals with inclined plane machining tool steel grade 1.2343 with finishing ball mill. It was implemented in the company Komfi spol. s.r.o. on the machine brand MAS type MCV 1000 Power. Technology of machining is described here. Types of tool materials, their chemical composition, use and wear are included. In the main part there is a design of new machining technology of the plane with three selected brands of ball mills. In conclusion, there is a comparison of machined surface with the instruments used, evaluation of the results and technical and economic assessment.

Obsah

ÚVOD	- 8 -
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU	- 9 -
1.1 Historie firmy Komfi spol. s.r.o.	- 10 -
2 OBRÁBĚNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ	- 11 -
2.1 Technologie frézování.....	- 11 -
2.2 Nástroje monolitní pro obrábění nástrojové oceli	- 13 -
2.2.1 Nástrojové oceli uhlíkové.....	- 14 -
2.2.2 Nástrojové oceli slitinové legované	- 15 -
2.2.3 Nástrojové oceli slitinové rychlořezné (HSS)	- 15 -
2.2.4 Nástrojové oceli slitinové na lité nástroje	- 16 -
2.2.5 Nástrojové oceli se slinutým karbidem (SK)	- 16 -
2.3 Řezné nástroje s vyměnitelnou břitovou destičkou.....	- 16 -
2.4 Syntetické velmi tvrdé materiály	- 19 -
2.5 Opotřebení.....	- 22 -
3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ VYBRANÝCH OCELÍ ..	- 27 -
3.1 Obecné podmínky pro frézování nástrojových ocelí	- 27 -
3.2 Síla třískového obrábění a výkonová kritéria.....	- 28 -
4 VÝBĚR VHODNÝCH MATERIÁLŮ A NÁSTROJŮ	- 30 -
4.1 Nástrojová ocel 1.2343 pro práci za tepla	- 30 -
4.2 Nástroj KARNASCH	- 30 -
4.3 Nástroj WNT	- 33 -
4.4 Nástroj FRANKEN	- 34 -
4.5 Frézovací centrum MAS - MCV 1000 Power.....	- 36 -
4.6 Upínač kulové frézy	- 37 -
5 DISKUSE EXPERIMENTŮ	- 38 -
5.1 Frézováno nástrojem Karnasch	- 38 -
5.2 Frézováno nástrojem Franken	- 39 -
5.3 Frézováno nástroj WNT	- 39 -
5.4 Porovnávací tabulka	- 40 -
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	- 41 -
7 ZÁVĚR	- 42 -
8 LITERATURA	- 44 -
9 SEZNAM PŘÍLOH	- 46 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	mm ²	průřez třísky
a _e	mm	pracovní šířka záběru
a _p	mm	hloubka řezu
b	mm	šířka třísky
CNC		computer numeric kontrol/počítačově řízené stroje
d _e	mm	efektivní průměr, v osovému řezu
F	N	řezná síla
f	mm/ot.	posuv
HRC		značka tvrdosti dle Roskwella
h	mm	tloušťka třísky
kc	N mm ⁻²	specifická řezná síla
n	min ⁻¹	otáčky vřetena
NC		numeric control/číslicově řízené stroje
Ra	μm	drsnot povrchu
R _t	mm	teoretická hloubka drsnosti
r _ε	mm	poloměr zaoblení bříty
TiCN		karbonitrid titanu
VBD		výměnná břitová destička
Vc	m.min ⁻¹	řezná rychlost
z		počet zubů

ÚVOD

Vývoj CNC frézování v nástrojové výrobě se ubírá směrem obrábění tvrdých materiálů s vysokou odolností proti korozi, pevnosti za tepla, i za studena. Za tvrdý materiál je považován materiál s tvrdostí od 50 – 65 HRC. Jsou to nástrojové materiály legované a kalené oceli.

Tato práce se zabývá problematikou obrábění nakloněných ploch forem z nástrojové oceli. Řešení bylo přizpůsobeno možnostem a strojnímu zařízení firmy Komfi. Jedná se o určitou část velké formy o hmotnosti 30 kilogramů, kterou je nutno frézovat kulovou frézou. Nebylo možné využít broušení s ohledem na navazující zaoblené plochy a na ostré hrany. Další nevýhodou byla hmotnost v souvislosti se složitým ustavením formy na brousícím NC stroji. Nakloněné plochy budeme frézovat vhodnou dokončovací kulovou frézou. Zde záleží zejména na kvalitě povrchu.

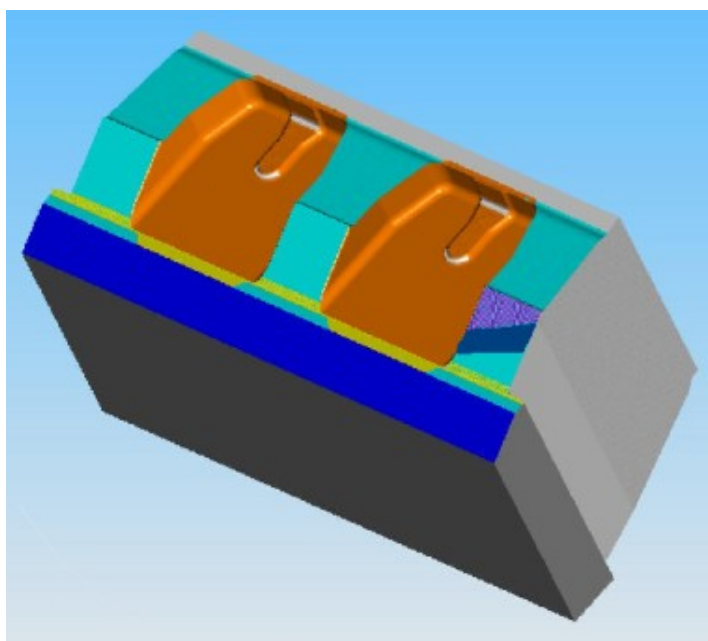
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

Firma Komfi se díky svým technologiím a týmu zkušených odborníků s dlouholetou praxí zabývá komplexním řešením oblasti forem pro vstřikování plastů, zinku a hliníku. Zabývají se zde odborným poradenstvím a dokážou zhodnotit dokumentaci a přizpůsobit ji z hlediska životnosti nástrojů a forem. Tyto kontrakty se provádějí v programech SolidWorks, do kterých je možné převést výstupy z běžných verzí systému SolidWorks obchodních partnerů.

Ve firmě jsou pro výrobu k dispozici nejmodernější CNC frézky, elektroerozivní drátové řezačky, hloubičky, brusky a další stroje. Celková hmotnost formy vyráběná v této firmě je do 1800 kg.

Složitost výroby i kvalita povrchu se zvyšuje. Se stoupajícími nároky rostou i požadavky na řezné nástroje. Neexistuje universální řezný nástroj, který by se mohl použít na všechny obráběné materiály. Ze široké nabídky se musí pro daný materiál vybrat takový, kterému vyhovuje zvolená technologie výroby, dále i řezné podmínky. Obráběcí proces má být co nejméně časově náročný, s minimalizovanými náklady a s vysokou produktivitou práce.

Hlavním úkolem je porovnání tří kulových fréz značky Karnasch, Franken a WNT o průměru šest milimetrů na frézovacím CNC stroji značky MAS typu MCV 1000 Power. Experiment provádíme za stejných pracovních podmínek a vyhodnocujeme získané údaje.



Obr. 1: forma pro vstřikování plastů

1.1 Historie firmy Komfi spol. s.r.o.

Komfi spol. s.r.o. se sídlem v Lanškrouně je na trhu již od roku 1992. Jejím původním zaměřením bylo technické poradenství a konstrukce jednoúčelových strojů. V roce 1995 byla založena provozovna ve Svěbohově u Zábřeha na Moravě. Zde se z budovy bývalého zemědělského družstva stala strojírenská dílna. Management firmy sídlil v pronajatých prostorech v areálu Tesly Lanškroun. V této době byl vyvinut první automatický balicí stroj BKD – 01 pro automatické tvarování, měření a balení elektrosoučástek, dále prototyp laminovacího stroje Orbit. Společnost byla organizačně přeskupena do 3 divizí s hlavním sídlem v Lanškrouně, další byla výrobní divize ve Svěbohově a konstrukčně-výrobní divize v Novém Městě na Moravě. Pro rostoucí zájem o tyto stroje se postupně svěbohovská divize trojnásobně rozšířila a zahájila sériovou výrobu laminovacích strojů Orbit.

Firma se neustále zlepšovala a důkazem toho byl další laminovací stroj Delta, který později nahrazuje laminovací stroj Orbit. Delta se stává dosud nejprodávanějším modelem firmy Komfi. Roku 2000 se firma přestěhovala z pronajatých prostorů Tesly, do nově zrekonstruovaných prostorů v průmyslové zóně města Lanškroun. Sídlí v těsné blízkosti svého největšího obchodního partnera AVX Czech Republic spol. s.r.o. Vývoj pokračoval a po stroji Delta nastoupil laminovací stroj Omega a poté ještě stroj Sirius pro formát B0.

Firma Komfi se zapojila do projektu „Partnerství pro podporu přímých zahraničních investic v České republice“, organizovaném agenturou CzechInvest, kde se umístila na třetím místě a získala prestižního ocenění „Subdodavatel roku“. Získala také certifikaci: Mezinárodní standard ISO 14001:2005.

V dalších letech byla založena dceřiná společnost Komfi Litomyšl (v místě bývalého závodu Kovopol) a další dceřiná společnost Komfi Slovakia spol. s. r. o. se sídlem v Martinu. Ta zajišťuje prodej strojů Komfi na Slovensku. Roku 2006 byl zaveden nový vysokorychlostní internetový informační systém umožňující komunikaci s dodavateli. Jedná se o kontakty hlavně na Blízkém východě a v asijských státech.

Roku 2009 byla založena dceřiná společnost Komfi Europe v Holandsku, která od 1. 1. 2009 zajišťuje marketing, prodej a servis laminovacích strojů Komfi v zemích západní Evropy.

Kromě výroby laminovacích strojů se firma Komfi zabývá výrobou forem.

2 OBRÁBĚNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ

Obrábění nástrojových ocelí je stále populárnější. Formy z nástrojové oceli jsou dokončovány až po tepelném zpracování. Tím se odstraní další dokončovací proces výroby a finální obrábění se omezí pouze na leštění. Nesmíme ale zapomenout, že u těchto speciálních nástrojů, konstruovaných pouze pro obrábění tvrdých materiálů, je nezbytné zaručit vysoký stupeň spolehlivosti, řezivosti při tomto druhu obrábění.

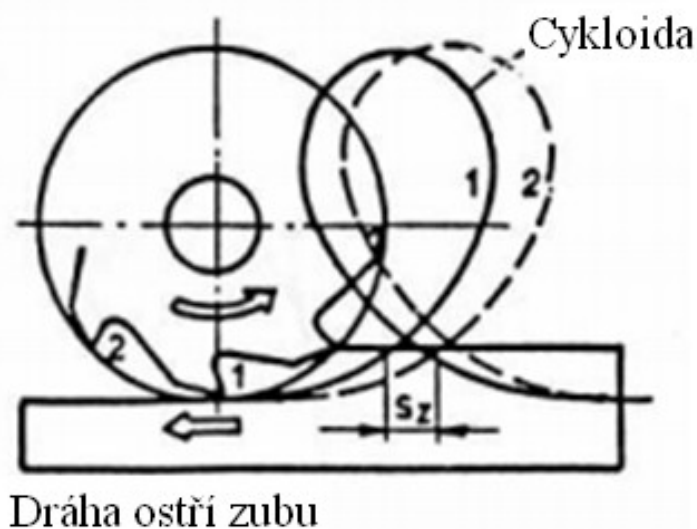
2.1 Technologie frézování

Princip a význam frézování:

Fréza se při práci otáčí kolem své osy a svými zuby po obvodě se postupně zařezává do obrobku. Je možné obrábět na obrobcích především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, šikmé, nepravidelné, rotační, dále drážky a vybrání různých tvarů. Frézování velkými řeznými rychlostmi ve většině případů umožňuje produktivnější a hospodárnější odebírání materiálu.

Podstata frézování:

Obrobek je pevně upnutý na pracovním stole frézky. Vykonává směrem k nástroji plynulý pohyb vedlejší (pracovní posuv). Každý břit frézy vykonává během řezání otáčivý pohyb ve vztahu k obrobku a také relativní pohyb posuvný. Z toho plyne, že záběrová dráha každého zubu není kruhová, ale ve skutečnosti tato dráha má tvar cykloidy. Jde o řezný pohyb zubu (hlavní pohyb).



Obr. 2: cykloidní záběr frézy [18]

Podle polohy osy otáčení nástroje a obrotu se frézování dělí do skupin:

- obvodové frézování
- čelní frézování
- okružní frézování
- planetové frézování

frézování obvodem nástroje

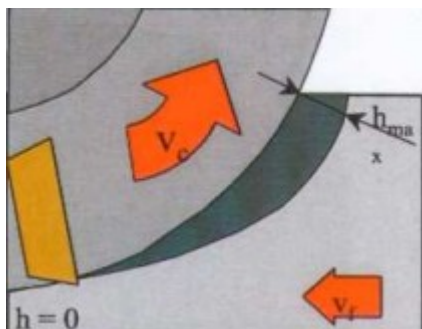
Používá se převážně při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou vytvořeny jen na válcovém obvodu nástroje. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Způsob vytváření takové plochy a průběh vytváření třísky závisí na smyslu otáčení frézy ke směru posuvu obrobku. Podle toho rozeznáváme dva způsoby frézování:[18]

Nesousledné:

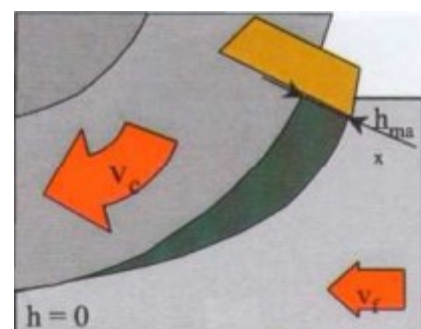
Fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Vznikající průřez se mění od nuly do konečné maximální hodnoty. Nevýhodou je, že břit zubu frézy na začátku řezu klouže po již obrobené ploše předchozím břitem, což má za následek opotřebení břitu a jeho otupování a tím zhoršuje jakost této obrobené plochy.

Sousledné frézování:

Smysl otáčení frézy je shodný s posuvem obrobku. Nevýhodou je, že břit vniká do materiálu v největší tloušťce třísky. Tloušťka třísky se při řezání zmenšuje a odděluje se od materiálu v nejslabším místě, kdy břit vychází ze záběru. Tento způsob frézování můžeme použít jen na stroji, který má ve stole vymezenou vůli mezi maticí a pohybovým šroubem, aby při záběru frézy nedošlo vlivem vůle ke vtahování obrobku pod frézu, což by mělo za následek poškození břitu frézy.[18]



Obr. 3: nesousledné frézování [19]



Obr. 4: sousledné frézování [19]

Frézování čelem nástroje

Je příznačné zejména pro frézy válcové, u nichž při odřezávání třísek pracují břity na obvodu frézy, ale také částečně břity na čelní ploše, které obráběnou plochu vyhlazují. Hloubka řezu se nastavuje ve směru osy otáčení frézy. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje.[18]

Frézování okružní

Používá se při obrábění dlouhých válcových tyčí a při výrobě závitů. Jako nástroj slouží frézovací hlava osazena několika noži.[18]

Frézování planetové

Uplatňuje se u NC strojů a obráběcích center, vybavených kruhovou interpolací dráhy nástroje, kde se osa nástroje pohybuje v nastaveném kruhu. Tento pohyb může být po kružnici a umožňuje tak frézovat celé plochy.

2.2 Nástroje monolitní pro obrábění nástrojové oceli

Nástroj

Nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří.

Prvky nástroje:

Těleso je část nástroje, na které jsou přímo vytvořené nebo upevněné elementy ostří.

Stopka je část nástroje určená pro upnutí.

Upínací díra je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, určených pro nastavení a upnutí nástroje.

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu, používaná při výrobě, ostření a upnutí nástroje. Obecně je osa nástroje středová čára stopky nebo upínací díry nástroje. Obvykle je rovnoběžná nebo kolmá k danému povrchu nástroje.

Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku. Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícezubého nástroje má každý zub svou řeznou část.

Základna je plochý prvek stopky nástroje, který je zpravidla rovnoběžný nebo kolmý k základní rovině nástroje. Slouží pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu.

Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem nástroje. Může být spojený jak s hlavním, tak i vedlejším ostřím.

Ostří nástroje je prvek řezné části nástroje, kterým se realizuje vlastní proces řezání.[3]



Obr. 5: obráběcí nástroje [10]

Nástrojové materiály:

Materiály na řezné nástroje musí mít tyto základní vlastnosti:

- tvrdost převyšující tvrdost obráběného materiálu minimálně o 5 - 6 HRC
- odolnost vůči opotřebení i za vysokých teplot
- dobrou tlakovou a ohybovou pevnost
- dobrou tepelnou vodivost

2.2.1 Nástrojové oceli uhlíkové

Na nástroje jsou většinou vhodné méně prokalitelné oceli, aby nástroj byl houževnatější. Na řezné nástroje se volí oceli s větším obsahem uhlíku, asi 0,7 až 1,4 %.

Nástrojové oceli vyhovují při menších nárocích na nástroj. Jejich nevýhodou je poměrně rychlý pokles tvrdosti vlivem popouštění při ohřevu. Výhodnější je ocel s větším obsahem uhlíku, např. ocel 19252 asi 1,3 % C.[5]

2.2.2 Nástrojové oceli slitinové legované

Volí se pro více namáhané nástroje. Jsou legované zejména V, Cr, W, Mo, Si, Mn, Ni, hlavně jejich vhodnou kombinací.

Trvanlivost ostří řezných nástrojů na obrábění kovů zvyšuje přísada karbidotvorných prvků, zejména Cr, V a W. Legující prvky také usnadňují kalení a zabraňují vzniku trhlin. Výhodnější jsou oceli rychlořezné, které jsou dobře odolné proti popouštění teplem, vznikajícím při řezu.

Nástroje pracující za tepla musí mít dostačující pevnost a tvrdost za pracovních teplot a časté změny teplot se nesmějí nepříznivě projevovat na změnách vlastností a rozměrů. Uhlíkových ocelí je možno použít jen na zápustky méně tepelně namáhané a pro menší počet výkovků. Pro tepelně značně namáhané zápustky jsou vhodné tvrdé a houževnaté oceli s nižším obsahem uhlíku (0,3 až 0,5 %), legované Cr, V, W, Mo, případně i Si nebo Ni. Nejvýše tepelně namáhané zápustky se dělají ze zušlechťených ocelí obsahujících až 10% W, které jsou velmi odolné proti popouštění.

Oceli na formy k lití pod tlakem mívají nízký obsah uhlíku (pod 0,5 %) se značně vysokým obsahem W a přísadou Cr a V. K lití kovů s nízkými teplotami tavení (Zn, Sn, Pb) stačí oceli uhlíkové nebo s přísadou Cr a V.[5]

2.2.3 Nástrojové oceli slitinové rychlořezné (HSS)

Zvětšování řezné rychlosti při obrábění je omezené nástroji procentuálních uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, které se při velké řezné rychlosti rychle ohřívají, nastává popouštění a rychlé otupení nástroje. Značné zvýšení řezné rychlosti, a tím i zvětšení produktivity práce umožňují rychlořezné oceli. Hlavní přísadové prvky jsou wolfram W (zvětšuje řezivost nástroje), chrom Cr (zlepšuje kalitelnost) a vanad V, který zvětšuje odolnost proti popouštění a opotřebení. Přiměřené množství uhlíku slouží k vytvoření správného množství karbidů, aby ocel byla dobře kalitelná a dostatečně tvrdá. Některé oceli mají ještě přísadu kobaltu Co, který zabraňuje přehřátí při ohřevu na vysokou kalící teplotu a umožňuje lepší rozpouštění karbidů.

Nejstarší a nejužívanější druh rychlořezné oceli má 0,7 % Cr, 18 % W, 4,3 % Cr a 1,4 % V (19824). Pro největší výkony se přidává 5 až 10 % Co. Pro jemné a přesné obrábění na čisto je vhodná ocel 19810. [5]

2.2.4 Nástrojové oceli slitinové na lité nástroje

Nástroje z rychlořezných ocelí, lité buď sklopným litím, nebo odstředivě, mají lepší řezivost než nástroje kované, jsou ovšem křehčí. Popouštěcí stálost je asi stejná jako u ocelí kovaných.

Nejpoužívanější jsou oceli: 42 29 92, rychlořezná ocel na lité frézy, výhrubníky a břitové destičky soustružnických nožů.[5]

2.2.5 Nástrojové oceli se slinutým karbidem (SK)

Často se označují SK a slouží pro největší řezné rychlosti. Lze jimi obrábět i nejtvrďší materiály a umožňují také obrábět při teplotách až 700 °C, aniž ztratí ostří. Na nejobtížněji obrobitelné materiály se vyrábějí celé nástroje ze slinutých karbidů, např. frézy, průvhlavy k tažení wolframových drátů, některé druhy zápustek, vložky do lisovnic atd.[5]

2.3 Řezné nástroje s vyměnitelnou břitovou destičkou

Používané materiály na řezné nástroje:

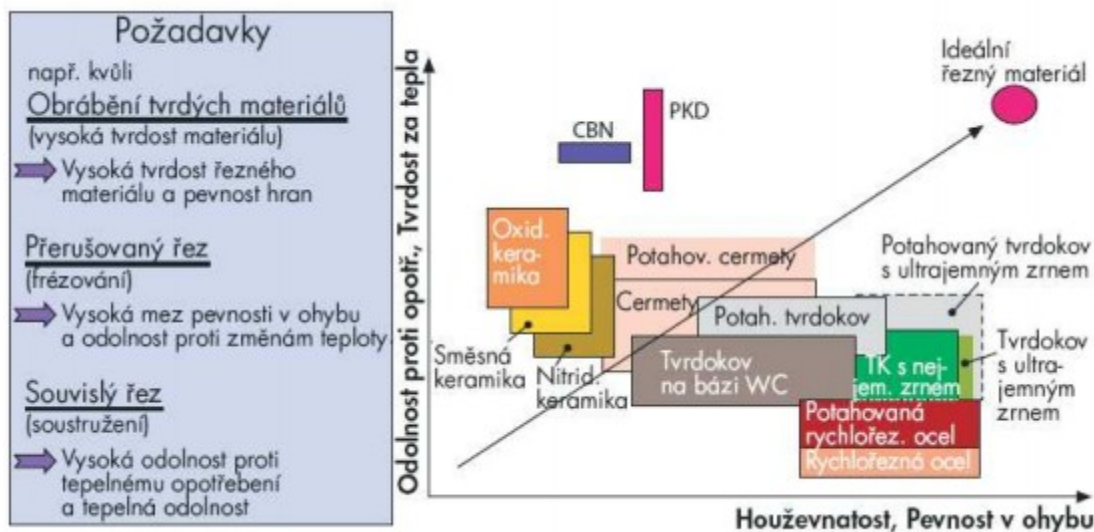
- nástrojové oceli
- slinuté karbidy
- keramické řezné materiály
- diamanty

Rozdělení řezných materiálů:

Na řezný materiál jsou kladeny požadavky jako velká tvrdost a pevnost v tlaku, vysoká pevnost v ohybu a houževnatost, odolnost oproti otěru, a vysoká tepelná odolnost.

Na příslušné obráběcí práci pak záleží, které z uvedených požadavků jsou nejdůležitější.

Řezné materiály pro třískové obrábění se rozdělují:



Obr. 6: vlastnosti používaných řezných materiálů [2]

Rychlořezné oceli (HSS)

Vysoce výkonné, používají se na frézy, spirálové, vrtáky výstružníky. Podmínky pro použití jsou nízké řezné rychlosti. Rychlořezné oceli mají nižší odolnost proti otěru ve srovnání s tvrdokovy, vysokou tepelnou odolnost a mez pevnosti v ohybu. Zlepšením jakosti lze dosáhnout práškovou metalurgií. Při této technologii výroby se tekutá ocel rozprašuje tryskami a lisuje do polotovarů. Takto vzniká velice dobrá struktura s dobrými mechanickými vlastnostmi a zvyšuje se tak odolnost oproti otěru i trvanlivost.

Tvrdokovy

Vyrábějí se z řady různých karbidů a kovového pojiva a dělí se podle normy ISO na tři hlavní skupiny:

P – pro obrábění materiálů tvořící dlouhé třísky. Jako je ocel, ocelová litina, nerezová ocel a temperovaná litina.

M – třída pro materiály tvořící dlouhé i krátké třísky. Jako je austenitická nerezová ocel, žáruvzdorné materiály, manganové oceli a další.

K – pro obrábění materiálů tvořících krátké třísky. Jako je šedá litina, kalená ocel a nezelezné materiály jako hliník, bronz, plasty a další.

Mají podstatně delší životnost v porovnání s rychlořeznou ocelí, vyšší odolnost proti opotřebení a vyšší možné řezné rychlosti a posuvy.[2]

Cermety

Cermety se jmenují podle počátečních písmen slov CERamics (keramika) a METal (kov). Vyjadřuje tím materiál, vykazující vhodné vlastnosti kombinací tvrdé keramiky a houževnatého kovu.

Použití nachází při dokončovacím obrábění. Tvrdá fáze cermetu vytváří plochy s velmi nízkou drsností povrchu.

Břítové destičky z cermetů obsahují karbidy titanu (TiC , TiCN). Jsou to sloučeniny z keramických částic v kovovém pojivu.

Základním pojivem cermetů je nikl, ke kterému je přidáván kobalt. Molybden je prvek, který výrazně zpevňuje tuhý roztok niklu a proto přidáván pro zvýšení pevnosti pojiva.

Vlastnosti cermetů:

- pevnost hřbetních ploch a odolnost proti vymílání
- chemická stabilita a tvrdost za tepla
- nízký sklon k tvorbě nárůstků a opotřebení oxidací
- nízká měrná hmotnost



Obr. 7: struktura cermetu [2]

Povlakování cermetů

Cermety mohou být povlakovány kvůli prodloužení trvanlivosti bříty nebo zvýšení řezné rychlosti. Cermety se dají povlakovat hlavně metodou s použitím PVD (physical vapour deposition). Tloušťka povlaků se u břitových destiček pohybuje od 2 do 15 μm .

Použití cermetů při frézování bez použité řezné kapaliny a sousledným způsobem, kdy se mění průřez třísky od maximální po minimální hodnotu.

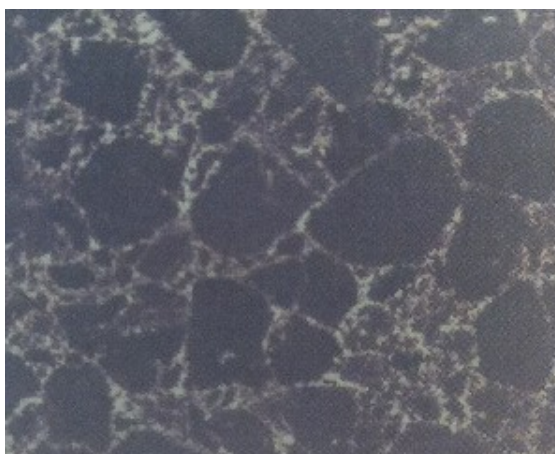
2.4 Syntetické velmi tvrdé materiály

Jsou to technické materiály, které svými vlastnostmi (především tvrdostí a otěruvzdorností) převyšují dosud známé běžné řezné materiály. Řadíme zde polykrystalické materiály na bázi kubického nitridu boru (KBN) a na bázi diamantu (PKD). Pro vysokou cenu a u PKD někdy ochotnou reakci s obráběným materiálem se zatím příliš nerozšířily. Používají se vesměs pro velkosériovou výrobu a speciální metody obrábění.[2]

Polykrystalický kubický nitrid boru (CBN)

Používá se jako polykrystalický řezný materiál ve třech různých formách provedení:

- jako masivní vyměnitelná břitová destička
- jako povlak, napečený na podkladu z tvrdokovu
- jako řezné těleso, naletované na podkladu z tvrdokovu.



Obr.8: mikrostruktura (CBN) [2]

Nástroje osazené kubickým nitridem boru se používají při obrábění bílé litiny s tvrdostí nad 50 HRC, legované litiny a tvrdých návarů a stelitů. Při opracování těchto materiálů dosáhneme mnohem vyšší životnosti nástroje než při obrábění slinutými karbidy či řeznou keramikou a dosahovaná odolnost proti teplotnímu namáhání se blíží 1500°C. Pro své vlastnosti, vysokou životnost a schopnost dosahovat vysoké jakosti povrchu, jsou vhodné jako nástroje nahrazující broušení třískovým obráběním. Je to z důvodu jak ekonomických, tak i ekologických.[5]

Vlastnosti:

- extrémní tvrdost
- vysoká tvrdost za tepla až do teploty 2000°C
- vysoká odolnost proti brusnému opotřebení
- relativně křehký, ale houževnatý a tvrdý jako řezná keramika
- dobrá chemická stabilita během třískového obrábění

Vlastnosti řezného materiálu CBN se mohou upravovat změnou velikosti krystalů a obsahem či typem pojiva. Nízký obsah CBN v kombinaci s keramickým pojivem dává lepší odolnost proti opotřebení a chemickou stabilitu. Tento řezný materiál se hodí především pro konečné úpravy tvrdých ocelových a litinových materiálů.

Vyšší obsah CBN vede k větší houževnatosti. Tyto materiály se používají převážně tam, kde je při obrábění nahrubo třeba počítat s vysokým mechanickým namáháním břitů a vysokým tepelným zatížením. Hodí se v první řadě k obrábění tvrdých typů litin a tepelně odolných slitin.[2]

Charakteristika:

Nízký obsah CBN do 60% má nízkou pevnost v tlaku a tepelnou vodivost. Používá se pro obrábění načisto zejména u kalených ocelí, litiny, tvrdých povlaků na bázi Co, Ni, a Fe. U obsahu CBN 80 – 95% se vyskytuje vysoká lomová houževnatost a tepelná vodivost.

Používá se u obrábění nahrubo, jako je kalená ocel, tvrzená litina a tvrdý povlak na bázi Co, Ni a Fe. Při obrábění načisto se užívá CBN na tvrzenou litinu a perlitickou šedou litinu.

Mezi oblastí použití CBN patří oceli ke kování, kalené oceli a litinové materiály, tepelně odolné slitiny a práškové kovy na bázi kobaltu a železa.

Nejpoužívanější 2 druhy řezných materiálů:

- **CBN 720** typ extrémně odolný proti opotřebení, s vysokou houževnatostí, pro souvislý řez.
- **CBN 725** typ odolný proti opotřebení, s maximální houževnatostí pro přerušovaný řez.[2]

Polykrystalický diamant (PKD)

Díky vysoké vazebné energii kubické mřížky je nejtvrdějším známým materiálem. Diamanty dělíme v zásadě na dvě skupiny: přírodní a syntetické. Oba tyto druhy se vyskytují ve tvaru monokrystalickém a polykrystalickém. Synteticky vyrobené diamanty jsou výhodnější jak ekonomicky, tak i technologicky. Nástroje a VBD osazené diamantem jsou používány pro obrábění neželezných kovů a slitin (hliník, měď, mosaz, bronz, titan a jejich slitiny). Jedná se vesměs o materiály, které nemají afinitu k uhlíku. Stále více jsou tyto nástroje nasazovány při obrábění keramických a plastických hmot s abrazivními plnidly, grafitové hmoty, gumy a jiné kompozitní materiály.

Nástroje a vyměnitelnou břitovou destičkou jsou používané ve firmě Komfi při výrobě rámu forem a základových desek. Značný odběr materiálu umožňuje produktivní výrobu daných součástí.



Obr. 9: rám formy

2.5 Opotřebení

Pro výsledek obrobiteľnosti obráběním je rozhodující vzájemné působení mezi obrobkem, nástrojem a obráběcím strojem.

Ovlivňující faktory obrábění závisí na:

Součástce – její přesné výroby, topografii povrchu a materiálu

Obráběcím procesu – způsobu tvoření třísky, teplotě, opotřebení a tření

Produktivitě – celkových výrobních nákladů, optimalizaci výdajů a řezných parametrů

Parametrech obrábění – jako je řezné rychlost, posuv a síla třískového obrábění,

Řezném materiálu - typu, vlastnosti a řezné geometrii

Obráběcím stroji - tepelném chování, přesnosti strojů a odvodu třísek.

Obrobek

Obrobek jako objekt obráběcího procesu je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Obráběná plocha je plocha, která má být obrobena řezáním. Obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu.

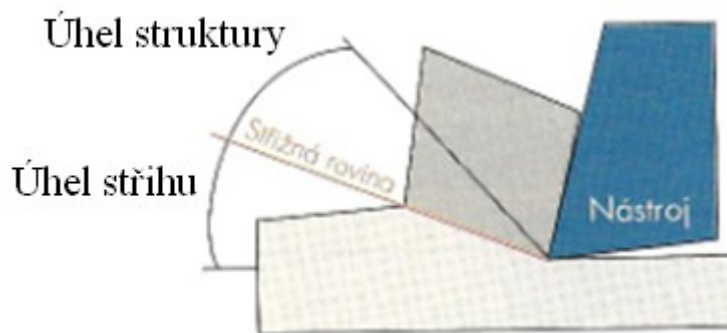
Přechodová plocha je část povrchu obrobku, která je vytvořena působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje nebo obrobku. [3]

Řezný nástroj

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem v soustavě obrábění. Právě nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí – břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky.[9]

Třísky

Třísky se tvoří vnikáním řezného klínu do materiálu obrobku, který se tím deformuje. Materiál je odebírán ve střižné rovině, která vzniká směrem řezu nástroje pod úhlem stříhu. Během vzniku třísek mění krystaly svou orientaci ve směru řezu nástroje. To je možné vidět ve formě takzvaných mapách kořenů třísek.



Obr. 10: znázornění modelu podle Merchanta [2]

Pěchování třísky

Souvisí s vlivy procesů tvoření třísek jako řezná síla, jakost povrchu. Je také ovlivňováno vlastnostmi materiálů i podmínkami třískového obrábění. Proto hodnota pěchovací třísky závisí na tvárnosti materiálu a na geometrických poměrech řezného klínu.

Obecně platí že:

Tloušťka obrábění $h <$ Tloušťka třísky h_1

Šířka obrábění $b <$ Šířka třísky b_1

Délka obrábění $l <$ Délka třísky l_1

Průřez obrábění $A <$ Průřez třísky A_1

Během tvoření třísek se plasticky deformují vrstvy materiálu obrobku a při nízkých řezných rychlostech může nastat intenzivní tvorba nárůstků.

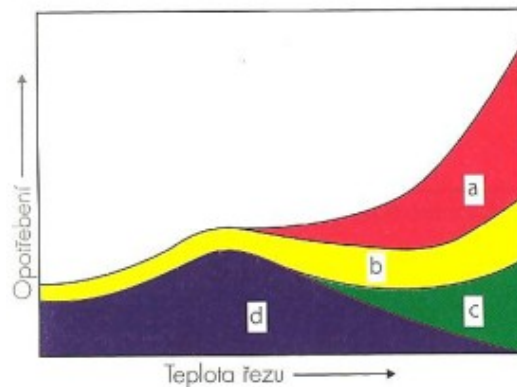
Nárůstky

Vznikají ze silně deformovaného materiálu obrobku, který jako slepenec přebírá úlohu řezné hrany. V závislosti na podmínkách obrábění odchází na spodní straně třísky z nárůstků periodicky části materiálu. To je negativní vliv na řeznou hranu nástroje a na obrobek. Způsobem, jak tomuto jevu zabránit je použití optimální geometrie ostří, optimálních řezných parametrů, použití povlaků a účinné chlazení.

Opotřebení nástrojů

Opotřebení je způsobeno současným mechanickým a tepelným zatížením řezného klínu. Největší zátěži patří mechanický otěr, odstřihování tlakových, svarových míst, oxidační procesy a difúze. Při nízkých řezných rychlostech lehce obrobitelných

materiálů dochází k mechanickému opotřebení a při vyšších řezných rychlostech má hlavní vliv na opotřebení oxidace a difúze.



Obr. 11: Příčiny opotřebení při třískovém obrábění [2]

- a) Difúze
- b) Abrazie
- c) Oxidace
- d) Adheze

Formy opotřebení slouží k posuzování stavu nástroje. Rozlišujeme formy opotřebení na: **Opotřebení hřbetní plochy** označuje se rovnoměrným ubýváním materiálu na hřbetní ploše nástroje. Opotřebovaná plocha je rovnoběžná se směrem řezu a označuje se jako šířka plošky opotřebení. Toto opotřebení způsobuje nárůst řezných sil, zvýšené vibrace, rostoucí teploty, zhoršení jakosti povrchu, rozměrové nepřesnosti na obrobku.

Příčina	Náprava
Příliš vysoká řezná rychlost	Snížení řezné rychlosti
Řezný materiál s nedostatečnou odolností proti otěru	Výběr řezného materiálu s vyšší odolností proti, výběrem povlakované jakostní třídy
Nepřízpůsobený posuv	Uvedení posuvu do správného poměru k řezné rychlosti a hloubce řezu

Tab. 2.1 [2]

Vymílání

Označuje se jako korytovité ubývání řezného materiálu na čelní ploše nástroje. Nadměrné vymílání vede k oslabení ostří, k větším deformacím třísek, tím ke zvýšení řezných sil a může dojít až k prasknutí ostří.[2]

Příčina	Náprava
Příliš vysoká řezná rychlost posuvu	Snížení řezné rychlosti posuvu, a použití typu řezného materiálu odolnějšího proti opotřebení
Malý úhel čela	Použití držáku nástroje a vyměnitelné břitové destičky s kladným úhlem čela
Špatný přívod chladicí kapaliny	Zvýšení množství tlaku chladicí kapaliny a lepší přívod na místo řezu
Řezný materiál s příliš nízkou odolností vůči opotřebení	Použití odolnějšího typu proti vymílání

Tab. 2.2 [2]

Plastická deformace

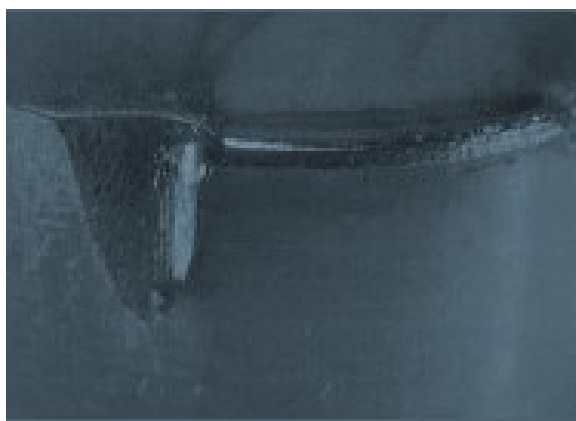
Nastává především v důsledku tepelného přetížení ostří. Rozhodujícím faktorem pro hodnocení řezného materiálu je přitom tvrdost za tepla. Příčina plastické deformace je příliš vysoká provozní teplota, v důsledku toho změknutí základního materiálu kvůli příliš vysokým řezným rychlostem a posuvům stejně jako tvrdým materiálům. Nápravu zajistíme snížením řezné rychlosti, použitím typu řezného materiálu odolnějšího proti opotřebení, zmenšení průřezu třísky, použitím přizpůsobené zaoblené hrany, zmenšený úhel nastavení a chlazením.

Hřebenové trhliny

Známe jako tepelné trhliny vznikají jako forma únavového opotřebení v důsledku tepelných šoků často při změně teploty. Trhliny se vytvářejí kolmo k ostří, přičemž se silněji vylamují jednotlivé částčky řezného materiálu mezi trhlínami a to vede k možnému prasknutí nástroje. Příčiny trhlín mohou být kolísajícím přívodem kapaliny, měnící se tloušťkou třísky anebo přerušovaným řezem.

Vroubkování

Vede ke snížení jakosti povrchu a k riziku prasknutí ostří. Muže k němu docházet jak na hlavním, tak i vedlejším ostří. Vroubkování na hlavním břitu je způsobeno mechanickými příčinami – otěrem. Zabráníme tomu snížením řezné rychlosti. Pokud obrábíme tepelně odolný materiál s keramickými řeznými materiály, tak zvýšíme řeznou rychlost. Na vedlejším břitu to je typickým adhezním opotřebením, k němuž může docházet v souvislosti s oxidačním opotřebením. Vroubkování se pak koncentruje na místě řezné hrany, kde se může dostávat vzduch do oblasti řezu.



Obr. 12 opotřebení ve tvaru vroubkování [10]

Prasknutí ostří

Nastává při vzniku mechanického přetížení. Vzniklé špičky nedovolují rovnoměrné opotřebení řezné hrany. Zapříčiňují nedostatečnou jakost povrchu. Prasknutí ostří se lze vyvarovat použitím houževnatějšího typu řezného materiálu. Při vibracích použití kladného úhlu čela a sklonu a zmenšením nepodepřené délky držáku od nástroje. V případě nárůstu zvětšíme řeznou rychlost.



Obr. 13 vyštípnutí ostří [3]

3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ VYBRANÝCH OCELÍ

Nástrojové oceli nejsou při normálních teplotách a tlacích plasticky deformovatelné. Proto při tvoření třísek nevzniká střižná rovina ani oblast stříhu. Na začátku oddělování materiálu se před čelní plochou vytváří trhlina v povrchu obrobku, která se zvětšuje. Při obrábění nástrojových ocelí působí mechanismy tvoření třísek, které způsobují velmi vysoké řezné síly a teploty.

3.1 Obecné podmínky pro frézování nástrojových ocelí

- Řezná geometrie nejvyšší kvality
- Speciálně vybraný mikrozrnitý tvrdokov s velikostí zrna $<0.4\mu\text{m}$
- Výběr povlaků odolných vůči teplotě a otěru
- Tuhé upínací přípravky nejvyšší přesnosti
- Technologicky správné řezné podmínky

Postup při frézování nástrojových ocelí:

Při dodržování doporučených parametrů tato technologie i kvalitou drsnosti po obrábění nahrazuje broušení.

Vždy používat sousledné frézování, doporučená řezná rychlost $v_c = 100 - 160\text{m/min}$.

Hloubka řezu a_p maximálně jeden a půl krát průměr frézy. Tloušťka třísky $a_e = 0.02$ krát průměr frézy.

Při tvrdosti nad 60HRC použití CNC stroje s naprogramováním trochoidního (postupně přírůstkového v kruzích) pohybu při obrábění, aby byla v záběru vždy pouze špička nástroje.

Zásady frézování stopkovými frézami jsou:

Používat pouze speciální slinuté karbidy v jakosti nejjemnějšího zrna. Používat pouze nástroje se speciálně přizpůsobenou geometrií břitů.

Používat tvrdokovové frézy opatřené speciálním druhem povlaku TiAlN určený pro obrábění kalených materiálů.

Co nejlepší přesnost obvodového házení a tuhost se nástroje přednostně upínají do tepelně-smrštitelných pouzder.

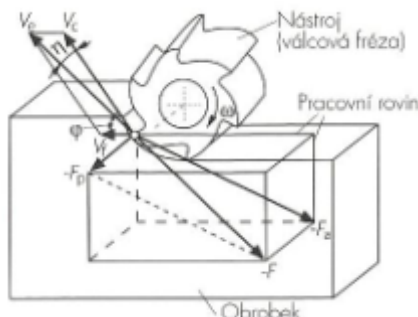
Řeznou rychlost je nutno přizpůsobit obrobku.

Posuv na zub je závislý od efektivního průměru břitu a tvrdosti obrobku.

Při nesplnění některé z těchto podmínek se snižuje výkon celého procesu obrábění kalených materiálů, v extrémním případě a nesplnění několika podmínek současně není efektivní obrábění tvrdých materiálů vůbec možné.

3.2 Síla třískového obrábění a výkonová kritéria

Síly při třískovém obrábění jsou definovány při působení na obrobek. Síla třískového obrábění F je celková síla působící na obrobek. Dá se rozložit do složek. Hlavní jsou vztažené k pracovní rovině a ke směru řezu a posuvu. Síly jsou brány v určitém bodě ostří. U nástrojů s více ostřími musí být síly uvažovány pro jednotlivé řezné klíny v záběru. S použitím vektorového sčítání mohou být opět složeny do celkové síly třískového obrábění.[2]



Obr. 14: složky síly třískového obrábění [2]

Pomocí složek aktivní síly F_a se vytváří výkon při třískovém obrábění. Mimořádně důležitou složkou je řezná síla F_c , která má význam pro skutečné nadzvedávání třísky a výpočet výkonu stejně jako pro silové dimenzování obráběcích strojů.

Zvlášť uvedeme axiální složku řezné síly F_f a radiální složku řezné síly F_p . Velikost a směr axiální složky jsou důležité veličiny pro zjištění výkonu potřebného k posuvu. Radiální složka slouží k výpočtu nástrojů a jejich upínacích zařízení.

Typ opotřebení nástroje má různý vliv na sílu třískového obrábění. Vymílání, které má za následek větší kladný úhel čela, vede většinou k poklesu síly třískového obrábění.

Při převládajícím opotřebení hřbetní plochy naproti tomu rostoucí síly, protože se zvětšuje třecí plocha mezi obrobkem a hřbetní plochou. Jako záchytné body pro růst při opotřebení hřbetní plochy až po šířku plošky opotřebení $VB = 0,5 \text{ mm}$ mohou být uvažovány:[2]

Axiální složka řezné síly	$F_f \propto 90\%$
Radiální složka řezné síly	$F_p \propto 100\%$
Řezná síla	$F_c \propto 20\%$

Řezná síla a specifická řezná síla

Řezná síla F_c (výkonová) je spolu s řeznou rychlostí rozhodující pro výpočet řezného (hnacího) výkonu obráběcího stroje. Velikost řezné síly závisí na obráběném materiálu a působících podmínkách třískového obrábění.[2]

Základní rovnice řezné síly je:

$$F_c = A \cdot k_c = b \cdot h \cdot k_c \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

Faktory ovlivňující řeznou sílu a specifickou řeznou sílu

Velikost síly obrábění složí k posuzování obrobiteľnosti, protože při obrábění těžko obrobiteľných materiálů vznikají také větší síly. V tabulce jsou shrnuty ovlivňující faktory. Viz. obrázek příloha 1.

Jakost povrchu

Při konečné úpravě může být jakost vyrobeného povrchu kritériem pro dimenzování procesu obrábění. Teoretická hloubka drsnosti je dána tvarem ostří a relativním pohybem nástroje vůči obrobku.

$$\text{Vzorec pro výpočet posuvu} \quad f = \sqrt{8 \cdot r_\epsilon \cdot R_t} \quad [\text{mm/ot.}] \quad (3.2)$$

Hloubka drsnosti kvadraticky roste s posuvem a lineárně klesá se zvyšováním poloměru zaoblení břitu. Uvedená rovnice platí pro posuvy do $f > 0,08 \text{ mm}$. Zvětšení zaoblení břitu má za následek zlepšení jakosti povrchu. Musí se však využívat poměrně opatrně, protože ploché ostří (velká hodnota r_ϵ) má při začínajícím opotřebení sklon k chvění.

4 VÝBĚR VHODNÝCH MATERIÁLŮ A NÁSTROJŮ

4.1 Nástrojová ocel 1.2343 pro práci za tepla

Charakteristika:

Vyznačuje se vysokou pevností za tepla a odolností proti popouštění, velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Chrom – molybden – křemík – vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Ocel je vhodná jak na nástroje chlazené vodou, tak pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 1800N/mm².

Tvrdost ve stavu kaleném 48-54 HRC.

Vhodnost využití:

Uplatňuje se na formy pevné a pohyblivé díly jádra, velmi namáhané malé a středně velké zápustky, matrice, trny, čelisti a razníky. Velmi namáhané průtlačníky a nástroje pro stříhání za tepla jako jsou nože nůžek.

Formy slouží pro výlisky:

1. plastů – leštění zejména v automobilovém průmyslu
2. hliník, zinek – erodovaná struktura normou VDI 3400 za účelem vyjmutí, vytlačení výlisku z formy.
3. pryž – fotochemický dezén.

Viz. Příloha 2.

4.2 Nástroj KARNASCH

Firma Dietrich Karnasch GmbH, Heddesheim, SRN je ve své vlasti známá jako výrobce vysoce přesných a výkonných monolitických nástrojů ze slinutých karbidů:

SK – vrtáků

SK – výstružníků

SK – závitníků

SK - fréz

Kromě obrábění standardních materiálů jako ocelí, nástrojových a nerezavějících ocelí s použitím standardních monolitických nástrojů se snaží sledovat nové technologie v obrábění a nové trendy v obrábění různých nových typů materiálů a pro ně vyvinout odpovídající obráběcí nástroje.[11]

SK - frézy pro frézování zápustek a frézy pro frézování kalených ocelí 60 - 70 HRC. Všechny aplikace jsou provedeny v rohovém i kopírovacím provedení, v krátké i dlouhé verzi, hrubovací i dokončovací.[11]

parametry kulové frézy Karnasch:

tvrdost	průměr frézy	rádius	průměr stopky	délka	délka ostří	zuby	cena
HRC < 70	$d_1 f_8 = 6\text{mm}$	$r \pm 0,005 = 3\text{mm}$	$d_2 h_6 = 6\text{mm}$	$l_1 = 54\text{mm}$	$l_2 = 6\text{mm}$	$z = 2$	990Kč

Tab. 4.1

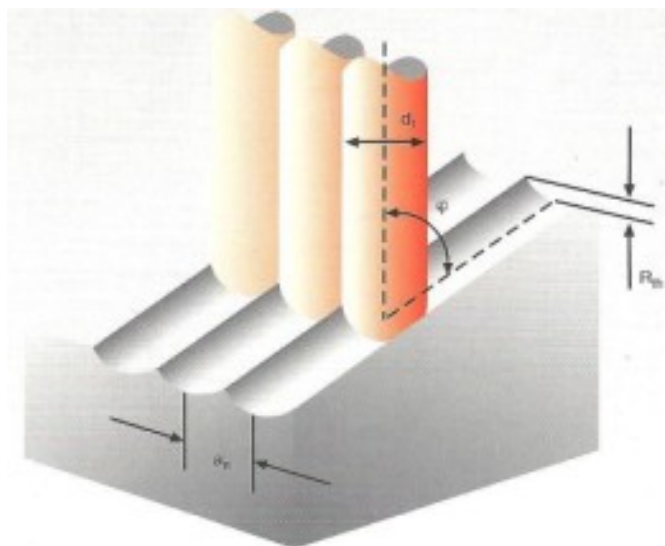


Obr. 15: dvoubřítá kulová fréza Karnasch [12]

vlastnosti:

materiálová skupina	materiál	tvrdost	V_c m/min	$\varnothing 6,0 f_z =$ mm/z	Korekční faktor	otáčky	posuv v_f	a_e	a_p
8,2	kalená ocel	45-60 HRC	160	0,05	1	15000	1450	0,1	0,3

Tab. 4.2



Obr. 16: stopková fréza se zaobleným čelem [13]

Aplikační vzorce:

Maximální otáčky na nástroj

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_e} = \frac{160 \cdot 1000}{\pi \cdot 1,25} = 40743 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

Maximální rychlost posuvu

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,05 \cdot 40743 \cdot 2 = 4074 \text{ mm/min} \quad (4.2)$$

Délka dráhy na ploše o velikosti 100 x 50mm a pracovní šířka záběru a_e 0,1mm

$$l = (b \div a_e) \cdot 100 = (50 \div 0,1) \cdot 100 = 50\,000 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Čas práce

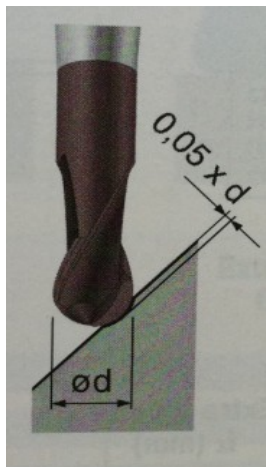
$$t = \frac{l}{v_f} = \frac{50000}{4074} = 12.27 \text{ min} \quad (4.4)$$

Teoretická drsnost

$$Ra = r \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a_e^2}{4 \cdot r^2}}\right) = 3 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{0,1^2}{4 \cdot 3^2}}\right) = 0,416 \mu\text{m} \quad (4.5)$$

4.3 Nástroj WNT

WNT je celoevropská prodejní organizace dodávající precizní nástroje na třískové obrábění menším a středním zákazníkům. Prostřednictvím vlastního skladu zásobuje strojírenské výrobce precizními nástroji. [15]



Obr. 17: dvoubřítá kulová fréza WNT [14]

parametry kulové frézy WNT:

$\text{Ø}d_1$	tvrdost	l_2	l_1	d_{2h5}	$r \pm 0,005$	cena
6mm	HRC<66	10mm	54mm	6mm	3mm	1536Kč

Tab. 4.3

vlastnosti:

materiál	tvrdost	v_c m/min	$\text{Ø } 6,0 \text{ fz=}$ mm/z	korekční faktor
kalená ocel	40- 60HRC	120	0,055	1,1

Tab. 4.4

Aplikační vzorce:

Maximální otáčky nástroj

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_e} = \frac{120 \cdot 1000}{\pi \cdot 1,25} = 30\,557 \text{ min}^{-1} \quad (4.6)$$

Maximální rychlost posuvu

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,055 \cdot 30\,557 \cdot 2 = 3\,361 \text{ mm/min} \quad (4.7)$$

Délka dráhy na ploše o velikosti 100 x 50mm a pracovní šířka záběru a_e 0,1mm

$$l = (b \div a_e) \cdot 100 = (50 \div 0,1) \cdot 100 = 50\,000\text{mm} \quad (4.8)$$

Čas práce

$$t = \frac{l}{v_f} = \frac{50000}{3\,361} = 15,27\text{min} \quad (4.9)$$

Teoretická drsnost

$$Ra = r \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a_e^2}{4 \cdot r^2}}\right) = 3 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{0,1^2}{4 \cdot 3^2}}\right) = 0,416\mu\text{m} \quad (4.10)$$

4.4 Nástroj FRANKEN

Firma FRANKEN je výrobce nástrojů pro obrábění, byla zapojena do skupiny EMUGE-FRANKEN v roce 1958. Od té doby počíná nová éra společnosti jako předního evropského výrobce stopkových a tvarových frézovacích nástrojů z kobaltových HSS-E a tvrdokovových řezných materiálů. V dnešní době má firma FRANKEN jeden z vůbec nejmodernějších závodů na výrobu fréz v Evropě.[17]

Široký výběr frézovacích nástrojů zahrnuje:

standardní stopkové HSS-E a HSS-EcoPM frézy

stopkové frézy FRANKEN TOPLINE

monolitní VHM frézy:

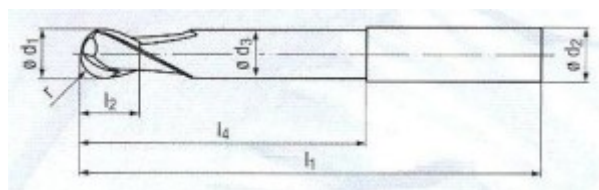
pro obrábění slitin Al (Alu-W-Cut)

pro obrábění kalených ocelí (Hard-Cut + S-Hard-Cut)

pro frézování forem a zápustek (N-Cut)

pro frézování Cu nebo grafitových elektrod

modulární nástrojový systém s VBD pro obrábění forem a zápustek.[17]



Obr. 18: dvoubřitá kulová fréza Franken [16]

parametry kulové frézy FRANKEN:

$\varnothing d_1$	tvrdost	l_2	l_1	$\varnothing d_3$	l_4	d_2	r	cena
6mm	<63 HRC	6mm	80mm	5,6mm	20mm	6mm	3mm	1249Kč

Tab. 4.5

vlastnosti:

materiálový skupina	materiál	tvrdost	Vc m/min	$\varnothing 6,0$ fz= mm/z	a_e	a_p
8.1	kalená ocel	40-60HRC	140	0,03	0,1	0,3

Tab. 4.6

Aplikační vzorce:

Maximální otáčky nástroj

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_e} = \frac{140 \cdot 1000}{\pi \cdot 1,25} = 35\,650 \text{ min}^{-1} \quad (4.11)$$

Maximální rychlost posuvu

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,03 \cdot 35\,650 \cdot 2 = 2\,139 \text{ mm/min} \quad (4.12)$$

Délka dráhy na ploše o velikosti 100 x 50mm a pracovní šířka záběru a_e 0,1mm

$$l = (b \div a_e) \cdot 100 = (50 \div 0,1) \cdot 100 = 50\,000 \text{ mm} \quad (4.13)$$

Čas práce

$$t = \frac{l}{v_f} = \frac{50000}{2\,139} = 23,37 \text{ min} \quad (4.14)$$

Teoretická drsnost

$$Ra = r \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a_e^2}{4 \cdot r^2}}\right) = 3 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{0,1^2}{4 \cdot 3^2}}\right) = 0,416 \mu\text{m} \quad (4.15)$$

4.5 Frézovací centrum MAS - MCV 1000 Power

Charakteristika strojů:

Řada strojů MCV je postavena na nosném rámu ve tvaru C. Uspořádání a tvar odlitků nosného rámu strojů je optimalizováno s ohledem na požadavek na vysokou tuhost a stabilitu. Aplikace lineárního vedení ve všech lineárních osách garantuje požadovanou přesnost a dynamiku při obrábění. Automatická výměna nástrojů ze zásobníku umožňuje práci v automatickém cyklu. S použitím zvláštního příslušenství stroj umožňuje nasazení produktivních nástrojů se středovým přívodem chladicí kapaliny.[19]

Parametry:

Posuv vřetene	X/Y/Z – 900/610/520mm	
Stůl		
upínací plocha stolu	mm	1300 x 670
max. zatížení stolu	kg	1 200
pracovní rozsah X, Y, Z	mm	1016 x 610 x 720
Vřeteno - MCV 1000 POWER		ISO 50 (ISO 40)
max. otáčky vřetena	ot / min	8 000
Výkon motoru vřetena SIEMENS (S1/S6 - 40%)	kW	28 / 43
Jmenovitý krouticí moment (S1/S6 - 40%)	Nm	406 / 623

Tab. 4.7

Obr. Viz. Příloha 5

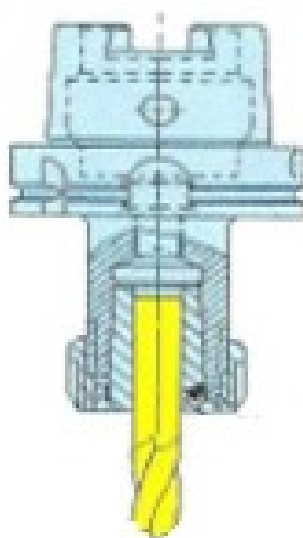
4.6 Upínač kulové frézy

Přesné a spolehlivé upnutí je zárukou dlouhé životnosti nástroje a kvalitně odvedené práce. Tímto nezbytným opatřením uživatel ušetří mnoho nákladů a starostí a investice vynaložená do přesných upínačů se mu mnohokrát vrátí. Kleštinová upínací pouzdra jsou nejrozšířenější upínací systémy pro hladké a válcové stopky.[20]

Charakteristika:

Přesnost obvodové házivosti celého systému je 0,025mm.

Přesnost obvodové házivosti mezi kleštinou a upínačem max. 0,003mm.



Obr. 19: upínací pouzdro pro kleštiny [2]

5 DISKUSE EXPERIMENTŮ

Vhodná volba kulové frézy pro dokončovací operaci obrábění šikmých ploch. Pro firmu Komfi by měla zajistit nejefektivnější obrábění vybrané nástrojové oceli. Ve firmě jsme vybrali porovnání tří kulových fréz od firem Karnasch, Franken a WNT.

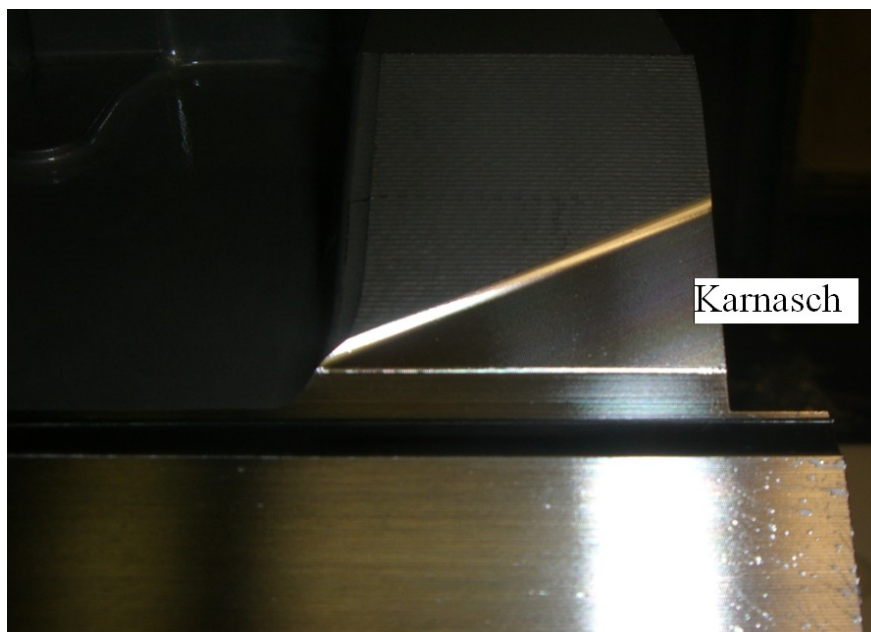
Porovnáváme je na stejném materiálu třídy 1.2343 podle drsnosti povrchu, ceně nástroje a času výroby.

Porovnáním zjistíme nejvhodnější nástroj pro obrábění nástrojové oceli.

Zkouška:

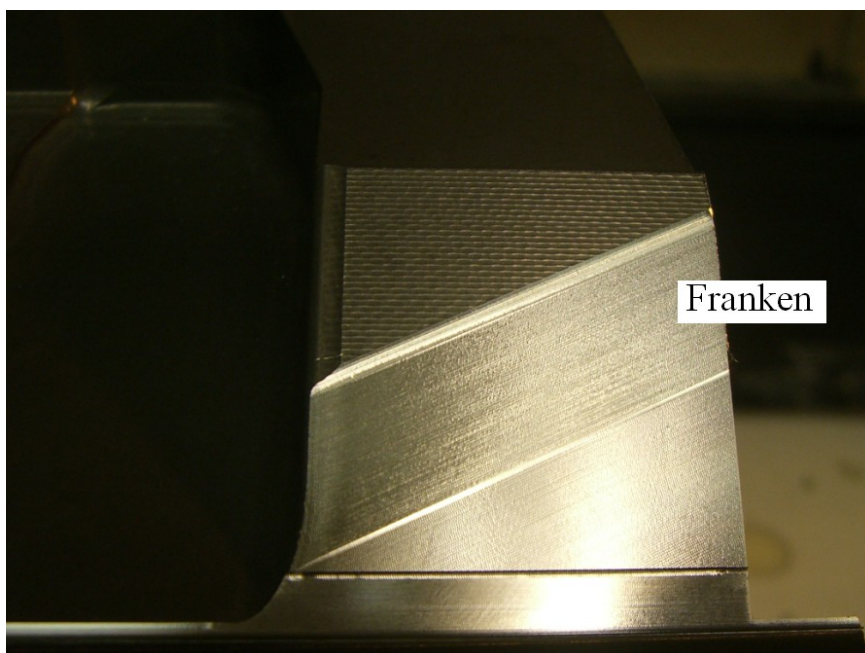
Zkoušku provádíme na frézovacím centru MAS – MCV 1000 Power. Maximální otáčky vřetena tohoto CNC stroje jsou osm tisíc minutu. I když je možné na zvolené nástroje použít mnohonásobně vyšší otáčky vřetene. V závislosti na stroji, jeho přesnosti, tuhosti a také po konzultaci s obsluhou tohoto stroje, jsme zvolili otáčky šest tisíc za minutu a posuv stolu tisíc milimetrů za minutu. Pro všechny tři kulové frézy.

5.1 Frézováno nástrojem Karnasch



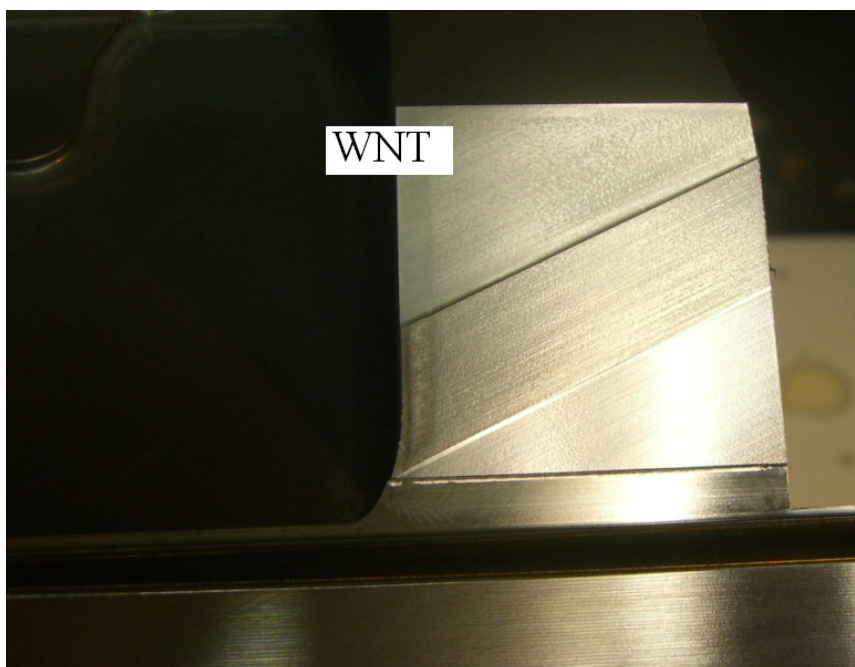
Obr. 20: obrobená plocha nástrojem Karnasch

5.2 Frézováno nástrojem Franken



Obr. 21: obrobená plocha nástrojem Franken

5.3 Frézováno nástrojem WNT



Obr. 22: obrobená plocha nástrojem WNT

5.4 Porovnávací tabulka

Nástroje měli stejné otáčky, posuv i hloubku odebíraného materiálu.

nástroj	Teoretický povrch[μm]	Skutečný povrch[μm]	Teoretická doba frézování na ploše 100x50
Karnasch	0,461	0,68	12,27 min
Franken	0,461	0,92	23,37 min
WNT	0,461	0,74	15,27 min

Tab. 5.1



Obr. 23: použité obráběcí nástroje

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V technicko–ekonomickém zhodnocení jsme porovnávali dvoubřité kulové frézy. Pro obrábění plochy nástrojové oceli.

Experiment jsme prováděli na frézovacím centru MAS – MCV 1000 Power. Nástroje jsme upínali do kleštinového upínače a chladili emulzí. Všechny tři nástroje byly testovány za stejných technologických podmínek.

K frézování plochy jsme použili nejprve kulovou frézu značky Karnasch Ø 6 mm. Nadále kulovou frézu značky Franken Ø 6 mm. A nakonec nástroj značky WNT Ø 6 mm.

Nejvýhodnější nástroj:

Pro frézování nakloněné plochy nástrojového materiálu jsme použili dvoubřité dokončovací kulové frézy. Na Frézovacím CNC stroji a zatížili jsme je stejnými řeznými parametry. Podle kvality drsnosti povrchu si nejlépe vedl nástroj firmy Karnasch. Jak je patrné z obrázku (22), kde je vidět rozdíl ploch frézovaných jednotlivými nástroji.

Druhý v experimentu podle kvality povrchu byl nástroj značky WNT. Jeho nevýhoda je jeho vyšší pořizovací cena pro danou práci frézování.

Nástroj Franken byl nejméně vhodný, jak je patrné z obrázku (18), měl větší vyložení stopky z upínače, jak je vidět na obrázku (20). Tím mohlo dojít k vibracím a následně k hrubšímu povrchu.

Ceny nástrojů jsou uvedeny v tabulce.

Nástroj	cena
Karnasch	990Kč
Franken	1 249 Kč
WNT	1 536 Kč

Tab. 6.1

Po experimentu jsme zjistili, že nejlepšího povrchu jsme docílili nástrojem Karnasch, který je i cenově nejvýhodnější.

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce hodnotí kulové frézy o průměru šest milimetrů značky Karnasch, Franken a WNT. Frézujeme nástrojovou ocel třídy 1.2343 o tvrdosti 50 – 52 HRC. Byly použity stejné řezné parametry, stejný typ upínače (kleštinový), vše na jednom stroji MAS MCV POWER 1000. Nástroje byly po celou dobu činnosti chlazeny emulzí.

Zadání mělo řešit problematiku obrábění nakloněné roviny a výběr nejvhodnějšího obráběcího nástroje pro tento typ ploch. Cílem bylo dosažení co nejmenější drsnosti opracovávaného materiálu a maximální možná ekonomičnost výroby.

Se zadanou prací si nejlépe poradil nástroj značky Karnasch, který je i podle katalogové ceny nejlevnější. Při nejvyšších prakticky možných rychlostech frézoval nejlépe. Nepředpokládá se, že dojde k pozdější reklamaci na nekvalitní hrubý povrch. Nákupem kulové frézy značky Karnasch firma Komfi ušetří na pořizovacích nákladech 546 Kč (oproti nástroji značky WNT, který byl jako druhý nejvhodnější).

V teoretické části práce byla popsána problematika opotřebení nástroje, vznik nárůstků a tvorba třísky, dále rozdělení nástrojové oceli, její chemické složení a využití. Řezné nástroje, které slouží k výrobě rámů forem a základových desek, umožňují značný odběr materiálu a produktivní výrobu daných součástí.

V praktické části práce je popsán návrh vlastního řešení obrábění nakloněné roviny. Byla použita kulová fréza na nástrojový materiál. Následně byl vyhodnocen nejvhodnější nástroj k obrábění formy. Ta je určena k výrobě vylisovaných krytek zámků pátých dveří auta nejmenované značky.

Poděkování

Děkuji firmě Komfi spol. s.r.o., panu Ing. Vojtěchu Sedlákov, Vladislavu Holešovskému a dalším pracovníkům této firmy za pomoc, že mi umožnili získat pro práci potřebné podklady.

Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc za odborné vedení a rady při jejím zpracování.

8 LITERATURA:

1. Historie firmy Komfi. *Komfi* [online]. Dostupné z: <<http://www.komfi.cz/cs/>>.
2. Garant, příručka obrábění. Hoffmann Qualitätswerkzeuge CZ, Vyd. Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik [cit.2011-04-10].
3. KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologické aspekty soustružení kalených ocelí* [online]. Vysoké učení technické v Brně: fakulta strojního inženýrství, 2002 s.190-193 [cit.2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby_II.pdf>.
4. Monolitní nástroje. *FRANKEN GmbH & Co. KGE*; Fabrik für Präzisionswerkzeuge. Tool Catalogue 230 valid from 1.4.2005. Emuge Franken.
5. Tumlikovo *metal cutting technologies* [online]. Dostupné z: <<http://www.tumlikovo.cz/rozdeleni-nastrojovych-oceli/>>.[cit.2011-04-17]
6. Nové řady monolitních fréz. *MM Průmyslové spektrum* 2007 č.9 s. 124. [online] Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-rady-monolitnich-frez>>.
7. Nástrojová ocel pro práci za tepla, *JZK Bučovice a.s.* [online]. Dostupné z: <<http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojova-ocel-12343>>.
8. Chemické složení oceli *Lentus, spol. s r. o.* [online]. Dostupné z: <<http://www.lentus-ocel.cz/n-19-5733.htm>> [cit. 2011-04-20].
9. Čep, Robert, *Technologie výroby II – první část.* [Online]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~cep77/stroj_tech_II.htm> [cit. 2011-04-22]
10. Produkty nástrojů *Astramotor* [online]. Dostupné z: <<http://www.astramotor.cz/cs/produkty/>> [cit.2011-04-28].

11. Nástroje karnech, *Neskan* [online]. Dostupné z:
<http://www.neskan.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=52:novkarn&catid=1:latest-news&Itemid=50> [cit. 2011-04-29].
12. Karnasch professional tools, nástrojový katalog, *Neskan s.r.o.* 2010-2011, [cit. 2011-04-29].
13. L.M.T.-FETTE, spol. s.r.o., nástrojová příručka, *nástroje pro výrobu zápustek a forem*, překlad Zemčík O. vydání tiskárna Horák, Ústí nad Labem. [cit. 2011-04-29].
14. WNT, katalog nástrojů, *kulové frézy WNT*, vydáno 09/2010 – 99 031 00106, [cit. 2011-05-02].
15. WNT, *charakteristika společnosti*, [online]
Dostupné z: <http://www.wnt.com/home_CSY_HTML.htm> [cit. 2011-05-02].
16. Emuge – Franken s.r.o., *nástrojová příručka*, přehled výrobního programu r. 1998, [cit. 2011-05-02].
17. Emuge – Franken s.r.o., *charakteristika společnosti*, [online]
Dostupné z: <<http://www.emugefranken.cz/>> [cit. 2011-05-02].
18. Vaňak, Antonín, *Technologie frézování*, [online]. CZ.04.1.03/3.1.15.2/009
Dostupné z: <http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC_fr.pdf> [cit.2011-05-05].
19. Kovosvit, *frézovací centrum*, [online]
Dostupné z: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1000-5ax/>> [cit.2011-05-06].
20. Upínání fréz, *MM průmyslové centrum* 2010 č. 4 s 60 [online]. Dostupné z:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/tvrdokovove-upinky-drzaku-svetovou-novinkou>> [cit.2011-05-08].

9 SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1	řezné síly
Příloha 2	nástrojová ocel pro práci za tepla 1.2343
Příloha 3	kulová fréza, efektivní průměr v závislosti na hloubce řezu
Příloha 4	frézovací stroj MCV 1000 POWER
Příloha 5	výkres
Příloha 6	dokončené plochy formy po kulovém frézování
Příloha 7	vzor hotového výlisku